

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра Электроснабжение и электротехника

(наименование)

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

На тему Разработка внешнего электроснабжения электроустановок ретранслятора
«Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

Обучающийся

Ю. В. Вершинина

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доц. М. Н. Третьякова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2022

Аннотация

Работа посвящена разработке внешнего электроснабжения электроустановок ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в городском округе Армянск посредством строительства высоковольтной линии электропередач 10кВ в связи с необходимостью обеспечения внешнего питания объекта.

Осуществлён анализ технических характеристик потребителей объекта и схемы электрических соединений ретранслятора, на основе чего установлены проблемы и предложены пути их решения.

На основе расчётных значений электрических нагрузок потребителей объекта и результатов расчётов токов короткого замыкания, выбрана схема электрических соединений внешнего электроснабжения электроустановок ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в городском округе Армянск, проведены выбор и проверка силовых трансформаторов на питающей подстанции, а также новых современных проводников и электрических аппаратов напряжением 10 кВ и 0,4 кВ объекта, обладающих повышенными показателями надёжности, безопасности и экономичности.

Детально рассмотрена питающая воздушная линия напряжением 10 кВ, для которой выбрана трасса прокладки, тип и количество опор, сечение провода, аппараты защиты.

Разработаны мероприятия по энергосбережению на объекте.

Рассчитаны экономические показатели проекта.

Содержание

Введение.....	4
1 Исходная характеристика объекта проектирования.....	6
1.1 Исходная техническая характеристика объекта проектирования	6
1.2 Анализ климатических и топографических условий местности на трассе воздушной линии	13
2 Разработка системы внешнего электроснабжения установок ретранслятора	19
2.1 Выбор трассы, типа опор и схемы воздушной линии электропередач	19
2.2 Определение расчётных электрических нагрузок воздушной линии .	22
2.3 Выбор компенсирующих устройств	27
2.4 Проверка силовых трансформаторов подстанции.....	29
2.5 Выбор сечения и марки провода воздушной линии 10 кВ	33
2.6 Расчёт токов короткого замыкания	39
2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов	46
2.8 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии.....	49
3 Расчёт экономических показателей проекта	54
3.1 Расчёт суммарных капиталовложений в проект.....	54
3.2 Расчёт суммарной стоимости проекта	58
Заключение	63
Список используемых источников.....	66

Введение

В современный век информации получение своевременных качественных данных является важнейшим условием для последующей обработки и принятия решений.

Экономическая эффективность использования информации всех типов в современном мире значительно возросла. Сегодня невозможно представить жизнь современного человека без использования сетей коммуникации для передачи информации всех видов.

Именно поэтому ретрансляторы, которые обеспечивают усиление передающего сигнала и, таким образом, позволяют покрыть большую площадь для входящего радиосигнала, играют важнейшую роль в данном процессе.

При этом практически всё оборудование современных ретрансляторов получает питание от электрической сети переменного напряжения промышленной частоты, что делает систему передачи информации, полностью адаптированной к современным условиям современных электрических сетей.

Поэтому качественное обеспечение электроснабжением ретрансляторов является одним из наиболее важных заданий в современной системе передаче информации.

Указанный аспект обуславливает актуальность данной работы.

Основной целью работы является разработка внешнего электроснабжения электроустановок ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в городском округе Армянск посредством строительства высоковольтной линии электропередач 10 кВ в связи с необходимостью обеспечения внешнего питания объекта согласно требованиям нормативных документов, предъявляемых к системам обеспечения потребителей, исходя из соответствующей категории надёжности.

Объектом исследования в данной работе является внешняя система электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в городском округе Армянск.

Предметом исследования в работе выступает электрическая принципиальная схема внешнего электроснабжения ретранслятора (схема главных внешних электрических соединений), а также высоковольтная линия электропередач 10 кВ, которая сооружается в связи с необходимостью обеспечения внешнего питания объекта.

В работе применяются следующие методы исследований: анализ нормативных документов и учебной технической литературы, индуктивный и дедуктивный методы анализа, методы расчёта электрических цепей, методы сравнения, аналитический метод.

Работа состоит из трёх разделов и выполняется согласно требованиям методических указаний с использованием принятых расчётных методик и нормативных положений основных документов.

В первом разделе приводится исходная характеристика объекта проектирования.

Второй раздел посвящён разработке системы внешнего электроснабжения электроустановок ретранслятора.

В третьем разделе проводится расчёт экономических показателей проекта.

Все принятые решения в работе подтверждаются на основании полученных результатов расчётов с применением аналитического метода анализа исходных данных и нормативно-технической литературы.

1 Исходная характеристика объекта проектирования

1.1 Исходная техническая характеристика объекта проектирования

Объект проектирования относится к Федеральному государственному унитарному предприятию «Российская телевизионная и радиовещательная сеть».

Ретранслятор «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» территориально расположен в городском округе Армянск, с. Перекоп ул. Садовая, 1А, кадастровый номер 90:16:020301:1978.

Для обеспечения электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» используется понизительная подстанция переменного напряжения ТП-10/0,4 кВ, которая конструктивно выполнена в виде комплектной трансформаторной подстанции наружной установки (далее – КТП-10/0,4 кВ).

Данная КТП-10/0,4 кВ территориально расположена на территории предприятия, обеспечивая качественной электроэнергией своих промышленных потребителей на номинальном напряжении 0,4 кВ.

Понизительная подстанция переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» по месту расположения в схеме электроснабжения региона является тупиковой распределительной понижающей подстанцией и играет важное значение в системе электроснабжения предприятия, являясь единственной понизительной подстанцией данной организации.

Рассматриваемая в работе понизительная подстанция КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» находится на полном балансе данного предприятия, поэтому полностью обслуживается и ремонтируется работниками данного учреждения.

Подстанция КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» является двухтрансформаторной комплектной подстанцией тупикового типа без резервирования на сторонах 10 кВ (ВН) и 0,4 кВ (НН).

Конструктивно КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» выполнена в виде комплектной трансформаторной подстанции наружной установки киоскового типа и введена в эксплуатацию в 2019 году (временная схема).

Рассматриваемая в работе питающая понизительная подстанция переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» состоит из следующих элементов, приведённых в работе далее и показанных на рисунке 1.

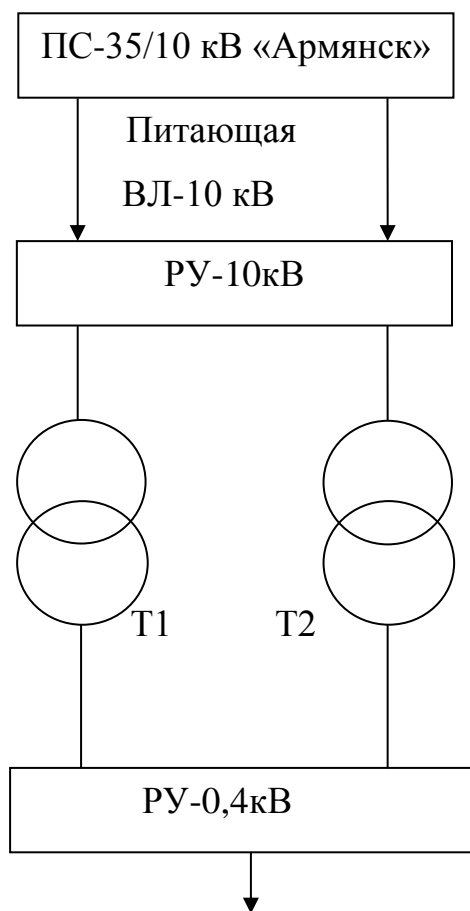


Рисунок 1 – Структурная схема понижающей тупиковой трансформаторной подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

Все приведённые выше составляющие структурной схемы, для понижающей тупиковой трансформаторной подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», составляют единое целое и рассматриваются как одна общая система.

Первым элементом является распределительное устройство высшего напряжения 10 кВ (далее – РУ 10 кВ) – конструктивно выполнено комплектным наружной установки по радиальной двухлучевой схеме электроснабжения с наличием резервирования[11].

В схеме РУ-10кВ понизительной подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» для питания сборных шин 10 кВ, применяется схема с наличием резервирования на стороне 10 кВ подстанции, что также соответствует условиям для питания I и II категории потребителей согласно нормам и требованиям [10].

На отходящих линиях в РУ-10кВ понизительной подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» установлены следующие основные защитные и коммутационные аппараты (графический лист 2):

- выключатели нагрузки марки ВНПу-10/400-10-УЗ– 2 единицы (год изготовления – 2018, введён в эксплуатацию на подстанции в 2019 году);
- предохранители марки ПК103-6-40-31,5/У3(однофазные) – 6 единиц (год изготовления – 2017, введены в эксплуатацию на подстанции в 2019 году).

Всё оборудование РУ-10 кВ ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» новое, поэтому не требует модернизации.

Следующим элементом в рассматриваемой в работе понизительной подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» являются два

силовых трансформатора 10/0,4 кВ, обеспечивающих понижение напряжения с 10 кВ до 0,4 кВ и последующее его распределение в РУ-0,4 кВ и далее конечным потребителям (оборудованию объекта проектирования).

На подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» установлены два силовых трансформатора марки ТМ-630/10 (изготовлены в 2016 году, введён в эксплуатацию на подстанции – 2019).

Данные трансформаторы на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» являются новыми, поэтому не нуждаются в модернизации и замене.

Далее рассматривается распределительное устройство номинальным напряжением 0,4 кВ (далее – РУ-0,4 кВ) – конструктивно выполнено комплектным наружной установки с применением ячеек стационарного типа (год производства – 2016, введены в эксплуатацию на подстанции в 2019 году).

РУ-0,4 кВ является распределительным устройством низшего напряжения рассматриваемой КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» [7].

В схеме РУ-0,4 кВ КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» предусмотрено две рабочие (секционированные выключателем) системы сборных шин с резервированием (двухлучевая секционированная схема с резервированием).

На отходящих линиях в РУ-0,4 кВ понизительной подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» установлены следующие защитные и коммутационные аппараты (основное оборудование): современные автоматические выключатели марки ВА (год изготовления – 2016, год ввода в эксплуатацию на подстанции – 2019).

Данные автоматы в схеме объекта установлены на вводе в РУ-0,4 кВ (2 единицы), на отходящих питающих линиях (7 единиц, из них: 2 единицы – к

щиткам освещения – ЩРО и ЩАО по радиальной схеме, 5 единиц – к силовым шкафам СРШ по радиальной схеме).

Также автоматы применяются для защиты одиночных потребителей, получающих питание от СРШ (в работе не рассматриваются).

От сборных шин РУ-0,4 кВКТП-10/0,4ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» получают питание СРШ потребителей предприятия по радиальной схеме электроснабжения силовыми кабелями марки ВВГнг различных сечений.

Основными потребителями КТП-10/0,4ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», являются технологические механизмы, устройства и узлы ретранслятора.

Все основные потребители КТП-10/0,4ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» распределены по силовым распределительным щитам (СРШ), согласно основному технологическому процессу передачи электроэнергии потребителям объекта.

Всего предусмотрено пять СРШ от которых по радиальной схеме электроснабжения получают питание потребители ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» (в работе детально не рассматриваются).

Все они работают на трёхфазном переменном напряжении 0,22/0,38 кВ промышленной частоты 50 Гц. Высоковольтные потребители и транзитные потребители в системе электроснабжения КТП-10/0,4ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» отсутствуют.

подавляющее большинство потребителей (около 80%) относятся ко II категории надёжности [10].

Исходя из количества и фактических нагрузок, в таблице 1 работы приводятся исходные данные потребителей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», питающей указанное предприятие, с указанием исходной установленной фактической нагрузки, согласно условиям технического задания.

Таблица 1 – Характеристика максимальной проектной нагрузки технологического оборудования узлов потребителей (СРШ)КТП-10/0,4ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

Наименование СРШ	Максимальная проектная нагрузкаСРШ	
	$P_{ном}$, кВт	$cos\varphi$
СРШ №1	120,0	0,85
СРШ №2	140,0	0,85
СРШ №3	160,0	0,85
СРШ №4	100,0	0,85
СРШ №5	80,0	0,85
Всего по КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»	600,0	0,85

Следовательно, максимальная проектная нагрузка КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» составляет 600 кВт.

На основании исходных данных нагрузок СРШ1-СРШ5, приведённых в таблице 1 данной работы, проводится обоснование схемы электрических соединений и расчёт электрических нагрузокКТП-10/0,4ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

Оперативный ток на КТП-10/0,4ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»– переменный, напряжением 220 В.

Защита силовых трансформаторов Т1 и Т2 расположена на РУ-10кВна КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в шкафах защиты трансформаторов ШЗТ-Т1 и ШЗТ-Т2, расположенных рядом с соответствующими трансформаторами, защита ввода 0,4 кВ расположена в релейном отсеке ввода 0,4 кВ Т1 и Т2.

Далее рассматривается источник питания ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

На данном этапе планируется обеспечить питание установленной и готовой к работеКТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» воздушной линией электропередачи10 кВ от подстанции ТП-35/10 кВ «Армянск».

Данный комплексный вопрос решается в работе далее.

Согласно утверждённым техническим условиям проекта, данная воздушная линия имеет длину 8,1 км и прокладывается от ПС-35/10 кВ «Армянск» до КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

Ситуационный план на местности проектируемой воздушной линии 10 кВ, показывающий основные элементы структурной схемы сети от источника питания (ПС-35/10 кВ «Армянск») до потребительской КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», приведён на рисунке 2.



Рисунок 2 – Ситуационный план на местности проектируемой воздушной линии 10 кВ от источника питания (ПС-35/10 кВ «Армянск») до потребительской КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

В работе, исходя из приведённых технических условий и характеристики объекта проектирования, для данной проектируемой воздушной линии 10 кВ необходимо выбрать тип и количество опор, сечение провода, коммутационные и защитные аппараты для установки на питающей ПС-35/10 кВ «Армянск», а также систему учёта и контроля электроэнергии, так как данная воздушная линия является вводной для питания ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

Данные мероприятия решаются в работе далее.

1.2 Анализ климатических и топографических условий местности на трассе воздушной линии

Далее в работе для качественного проектирования трассы воздушной линии 10 кВ, а также для выбора типов опор и марок проводов, необходимо провести детальное описание и анализ климатических и топографических условий местности на трассе воздушной линии.

Участок работ по климатическому районированию относится к III климатическому району, подрайону III-Б согласно архитектурно-строительному климатическому районированию территории РФ.

Городской округ Армянск (с. Перекоп на расстоянии 5 км от г. Армянск) расположен в степной местности на севере Крымского полуострова на Перекопском перешейке, является приграничным регионом. На западе омывается водами Черного моря, на востоке – Азовского, посредством его залива Сиваш, на расстоянии 4км проходит Северо-Крымский канал. На территории с. Перекоп, участок окружен одноэтажными постройками и приусадебными участками.

В геоструктурном отношении участок изысканий проектируемого объекта расположен в пределах структуры I порядка – Восточно-Европейская докембрийская платформа и ее составной структурной части II порядка — Каркинитского прогиба.

В геологическом строении территории принимают участие четвертичные эолово-делювиальные отложениями, перекрытые элювиальным образованиями голоцена.

Степную часть Крыма, к которой относится участок работ, выделяют в качестве обедненной в териогеографическом районировании. Псаммофитные и пустынные степи рассматриваемого участка занимают песчаные или песчано-ракушечные типы почв морских побережий и солонцы Присивашья. Растения здесь представлены бедным, изреженным травостоем. Во флоре зоны степи, кроме ковылей и типчака, встречается полынь, асфаделина, осока, пион узколистный, пырей ковылелистный, многолетние дерновинные злаки. Также имеются искусственно насаженные лесополосы, состоящие из дикорастущих плодовых, лоха, акации.

Геологическое строение участка характеризуется развитием осадочной толщи неогеновых и четвертичных отложений. Грунтовые воды встречены не на всех участках строительства.

Климат можно отнести к умеренно-континентальному степному. Жаркое, засушливое лето (преобладают сезонные суховеи) и мягкая, малоснежная зима с частыми оттепелями и очень переменчивой погодой.

Среднегодовая температура воздуха 11.0°C. Снег лежит около 20-30 дней в году, снежный покров очень неустойчив из-за степных ветров и оттепелей. Дожди мелкие и непродолжительные (за исключением летних месяцев с ливневыми осадками) за год здесь выпадает 370-390 мм. Относительная влажность воздуха зимой составляет 70-80%, летом колеблется от 40-45%. Особенностью климата на участке работ является отрицательный баланс влажности.

Одной из климатических характеристик, отражающих физико-географические особенности района, является средняя месячная температура воздуха.

Годовой ход температуры воздуха почти всегда совпадает с годовым ходом притока солнечной радиации.

Среднегодовая температура воздуха составляет 11°C. Наиболее холодным месяцем является январь, среднемесячная температура воздуха составляет минус 1,0 °С, в отдельные годы эта закономерность нарушается так как абсолютный минимум температуры воздуха приходится на февраль и составляет минус 27,6°C. Наиболее теплым месяцем является июль, среднемесячная температура воздуха составляет плюс 23,3°C, абсолютный максимум температуры воздуха совпадает с среднемесячными показателями и также приходится на июль с температурой плюс 39.7°C. Безморозный период в воздухе длится в среднем 211 дней, наибольшее количество безморозных дней в воздухе 236, наименьшее – 187.

Составной частью водного баланса атмосферы является влажность воздуха. От ее величины в значительной степени зависит образование облачности и выпадение осадков. Основным источником обогащения воздуха влагой является вода морей и океанов, которая, испаряясь с их поверхности, в виде водяного пара переносится воздушными течениями в различные районы земли.

Процессы осадкообразования в Крыму формируются под воздействием атмосферной циркуляции юга Европейской части СНГ. Годовая сумма осадков исследуемой территории составляет 389.6 мм. Величина испаряемости влаги составляет 744-855 мм, что почти в 2 раза больше количества осадков. Следовательно, с. Перекоп относится к зоне недостаточного увлажнения. Отмечается полуконтинентальный тип годового хода осадков с незначительным превышением сумм осадков летне-осеннего периода. Максимальное месячное количество осадков наблюдается в августе месяце и составляет 232 мм. Максимальное суточное количество осадков наблюдалось в июле месяце и составило 97 мм. Среднемесячный минимум осадков наблюдается в зимне-весенний период (февраль-апрель) и находится в пределах 25–127 мм.

Пространственная неоднородность поля осадков в холодный период года в Крыму обуславливает неравномерное распределение снежного покрова

по его территории. В степном районе Крыма (в т. ч. в с. Перекоп) снежный покров устанавливается в I–II декадах декабря. В отдельные годы снежный покров может возникать раньше или позже средних дат. В связи с тем, что зимы в Крыму довольно теплые, с частыми оттепелями, на большей части полуострова не бывает устойчивого снежного покрова (устойчивый снежный покров отмечался в зимы 1971–1972 гг. с 12 января по 11 февраля и в 1975–1976 гг. с 30 января по 29 февраля). Сходит снежный покров в с. Перекоп обычно в декадах марта. Средняя высота снежного покрова составляет 5–10 см, запасы воды в снеге составляют 20–25 мм.

В соответствие с [10] район строительства воздушной линии 10 кВ относится к I району по весу снегового покрова.

Отложения льда любой интенсивности относятся к опасным атмосферным явлениям. Из многих форм гололёдообразования наиболее опасными являются гололед, зернистая изморозь, отложение мокрого снега и различные их сочетания. Наибольшее число дней с гололедом отмечается в январе, несколько меньшая повторяемость гололеда бывает в декабре и феврале, в среднем за год в с. Перекоп 5 дней с гололедом. Отложения гололеда с диаметром менее 10 мм отмечаются в 80% случаев, повторяемость отложений с диаметром 15 мм и более составляет 8–14%, особо опасные отложения менее 25 мм отмечаются редко (не более 1–2%). Масса отложений гололеда в большинстве случаев колеблется от 20 до 80 г на 1 м погонной длины. Продолжительность периода с отложением гололеда весьма различна от нескольких минут до нескольких дней. Максимальная продолжительность периода нарастания отложений гололеда колеблется от 11–18 ч. В соответствие с [10] район строительства воздушной линии 10 кВ относится к III району по толщине стенки гололеда.

Расчетный период 1974–2021 гг. выбран в зависимости от начала наблюдений за характеристиками ветра по анеморумбометру (М-63-М-1). За этот период высота ветроизмерительного прибора не менялась и составляла 10 м. Данный ряд наблюдений можно считать однородным. Среднегодовая

скорость ветра, по данным метеостанции Ишунь, составила 3,0 м/с, наибольшая среднемесячная скорость ветра – 3,6 м/с, наименьшая – 2,4 м/с.

В соответствие с [10], район строительства относится к III району по давлению ветра. Значения ветрового давления 0,28 кПа к средней скорости ветра 25,3 м/с (повторяемостью раз в 50лет).

Среди опасных атмосферных явлений наиболее характерными для Крыма являются: туманы, грозы, град, а также засушливые явления-засухи, суховеи, пыльные бури. Расчет проведен за период 1976-2017гг. Данные по суховеям, пыльным бурям отсутствуют.

Для участка изыскания характерны опасные явления в виде [15]:

- очень сильный ветер,
- очень сильный дождь,
- сильный ливень,
- отложение мокрого снега.

Опасные гидрометеорологические процессы и явления такие как: наводнения, цунами, селевые потоки, снежные лавины и заносы, ураганные ветры и смерчи, гололеды, активные проявления русловых процессов, заторы и зажоры, оказывающие воздействия на проектируемый объект, выявлены не были.

Условия для строительства объекта характеризуются как удовлетворительные.

Инженерно-геологические условия участка являются условно-благоприятными для намеченного строительства. Грунтовые воды обладают сульфатной агрессивностью по отношению к портландцементу.

Приведённые данные климатической и топографической характеристик местности, где планируется сооружение воздушной линии 10 кВ для питания потребителей подстанции переменного тока КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», используются в работе далее.

Выводы по разделу 1

В результате выполнения раздела, осуществлён анализ исходных данных с приведением основных технических характеристик КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

Установлено, что на данном этапе данный объект нуждается в подключении источников питания от энергосистемы посредством строительства высоковольтной воздушной линии электропередач напряжением 10 кВ, что обуславливает необходимость и актуальность данной работы.

Приведены детальные топографические и климатические условия местности в месте сооружения воздушной линии 10 кВ.

Основываясь на климатической и топографической характеристиках местности, где планируется сооружение воздушной линии 10 кВ для питания потребителей подстанции переменного тока КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», исходные данные по которой приведены в таблице 1, а также на исходной схеме главных электрических соединений подстанции, далее в работе проводится решение основных поставленных задач.

2 Разработка системы внешнего электроснабжения установок ретранслятора

2.1 Выбор трассы, типа опор и схемы воздушной линии электропередач

Далее в работе проводится выбор трассы, типа опор и схемы воздушной линии электропередач.

Как правило, воздушные линии проектируются и вводятся в эксплуатацию с учётом оборудования защиты, коммутации и измерения на подстанции (как питающей, так и распределительной). Поэтому данные параметры должны совмещаться.

Исходя из этого, кратко приводятся основные нормы и требования, которые предъявляются к проектированию новых воздушных линий для питания трансформаторных подстанций систем электроснабжения промышленных предприятий и гражданских сооружений, которые заключаются в неукоснительном соблюдении следующих требований и технических условий [1],[10],[11]:

- надёжности отдельных элементов цепи, узлов и всей системы электроснабжения в целом
- экономичности передаче электроэнергии на всех звеньях цепи;
- безопасности обслуживающего персонала при выполнении работ;
- возможность модернизации и расширения распределительных устройств подстанции, в связи с вводом в эксплуатацию воздушной линии;
- удобство монтажа, ремонта и эксплуатации оборудования воздушной линии и подстанции;
- применение передовых технологий в сфере разработки оборудования подстанций и воздушных линий, а также современных схемных решений;

- применение негабаритных конструкций;
- обеспечение постоянного и качественного оперативного контроля параметров и характеристик оборудования воздушной линии на подстанции;
- применение качественного и достаточного аппарата автоматизации всех процессов в воздушной линии на подстанции;
- соблюдение и контроль параметров электроэнергии, передаваемой потребителям подстанции на всех уровнях;
- возможность локализации узлов с лимитами энергопотребления и/или значительными потерями электроэнергии;
- контроль перетоков мощности на всех уровнях в узлах и ветвях схемы воздушной линии на подстанции;
- обеспечение ограничения ненормальных режимов воздушной линии на подстанции.

Поэтому далее в работе проводится выбор не только трассы и проводников воздушной линии, а и оборудования подстанции, служащее для защиты, коммутации, контроля и измерения параметров на данной воздушной линии.

Как было указано ранее, расстояние между КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» и питающей ПС-35/10 кВ «Армянск» составляет 8,1 км.

Следовательно, суммарная длина проектируемой воздушной линии будет равна 8,1 км.

Известно, что для трассы воздушных линий напряжением 10 кВ применяются следующие основные типы опор [2]:

- промежуточные опоры – служат для поддержки и натяжения проводов воздушных линий электропередач;
- анкерные опоры – служат для нагрузки всей воздушной линии;
- угловые опоры – применяются в случае поворота трассы воздушной линии под большим углом в сторону;

- концевые опоры – нужны в случае ввода воздушной линии в распределительное устройство подстанции или распределительный пункт;
- специальные опоры – необходимы в случае пересечения воздушной линией топографических препятствий в виде оврагов, рвов, возвышенностей, рек и прочих препятствий;
- транспозиционные опоры – необходимы для разветвления воздушной линии на несколько направлений.

Кроме того, есть совмещённые типы опор, которые сочетают функции двух и более типов.

Например, к ним относятся анкерные угловые, угловые промежуточные, концевые транспозиционные и прочие специфические опоры.

С учётом того, что проектируемая воздушная линия электропередач 10 кВ питает двухтрансформаторную КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», следовательно, необходимо использовать две цепи, которые будут располагаться на одних опорах (двухцепная линия электропередачи).

Таким образом, будет обеспечена значительная экономия ресурсов. Следовательно, исходя из этого, в работе необходимо выбирать двухцепные опоры.

Исходя из трассы местности, с учётом длины и топографических условий, а также учитывая особенности схемы, для воздушной линии электропередач в работе выбираются следующие типы опор [4]:

- промежуточные двухцепные опоры марки П32,
- промежуточные переходные двухцепные опоры марки ПП32,
- угловые промежуточные двухцепные опоры марки УП32,
- анкерные (концевые) двухцепные опоры марки А32.

Все приведённые типы и марки опор воздушной линии 10 кВ изготавливаются с использованием железобетонного основания и

применением металлических траверс и оттяжек, а также креплений и узлов линии.

При этом все металлические части опор воздушной линии 10 кВ подвергаются обработке от коррозии.

Промежуточные двухцепные опоры марки ПЗ2 и анкерные (концевые) двухцепные опоры марки АЗ2, располагаются равномерно на трассе воздушной линии 10 кВ (в зависимости от расстояния между ними с учётом климатических условий).

Промежуточные переходные двухцепные опоры марки ППЗ2 и угловые промежуточные двухцепные опоры марки УПЗ2 располагаются на трассе воздушной линии 10 кВ в зависимости от необходимости их установки с учётом топографических и климатических условий местности.

План расположения участка трассы воздушной линии 10 кВ с выбранными типами опор представлен на графическом листе 1.

Конструкция основных типов опор воздушных линий представлены на графическом листе 3.

2.2 Определение расчётных электрических нагрузок воздушной линии

Далее в работе проводится расчёт электрических нагрузок воздушной линии 10 кВ для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», целью которого является определение расчётных электрических нагрузок всех потребителей, а также суммарной расчётной нагрузки данной подстанции.

Основой для расчёта электрических нагрузок системы электроснабжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» является проектная установленная номинальная нагрузка потребителей СРШ1, которая принимается равной расчётной активной нагрузке (таблица 1).

При этом расчётная активная нагрузка присоединений принимается равной максимальной фактической активной нагрузке (с нормативным коэффициентом загрузки, равного единице).

Расчётная реактивная нагрузка присоединений потребителей воздушной линии 10 кВ для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», определяется так[12]:

$$Q_{np} = P_{np} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{\text{нотпр}}, \quad (1)$$

где P_{np} , Q_{np} , – соответственно значения расчётных активной и реактивной нагрузок воздушной линии 10 кВ для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

По условию (1) для воздушной линии 10 кВ, предназначенной для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

$$Q_{np.} = 600 \cdot 0,54 = 324 \text{ квар.}$$

Расчётная полная нагрузка присоединений потребителей воздушной линии 10 кВ для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», определяется так[12]:

$$S_{np} = \sqrt{P_{np}^2 + Q_{np}^2}, \quad (2)$$

где S_{np} – значения полной расчётной нагрузки для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

По условию (2) для воздушной линии 10 кВ, предназначенной для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

$$S_{np.} = \sqrt{600^2 + 324^2} \approx 682 \text{ кВА.}$$

Далее определяются значения расчётных нагрузок воздушной линии 10 кВ, предназначенной для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» с учётом значения коэффициента одновременности максимума нагрузок (K_0).

В данном случае этот расчёт важен, так как позволяет выбрать и проверить силовые трансформаторы подстанции, которые питаются отдельно от каждой цепи проектируемой воздушной линии 10 кВ.

Значение расчётной активной нагрузки воздушной линии 10 кВ, предназначенной для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», с учётом значения коэффициента одновременности максимума нагрузок [16]

$$P_{ВЛ} = K_0 \sum_{i=1}^n P_{np}, \quad (3)$$

где K_0 – значение коэффициента одновременности максимумов нагрузки на шинах 10 кВ потребительской подстанции.

По условию (3) для воздушной линии 10 кВ, предназначенной для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

$$P_{ВЛ} = 0,9 \cdot 600 = 540 \text{ кВт.}$$

Значение расчётной реактивной нагрузки воздушной линии 10 кВ, предназначенной для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», с учётом значения коэффициента одновременности максимума нагрузок [16]

$$Q_{ВЛ} = K_0 \sum_{i=1}^n Q_{np}. \quad (4)$$

Согласно (4) для воздушной линии 10 кВ, предназначенной для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

$$Q_{ВЛ} = 0,9 \cdot 324 \approx 292 \text{ квар.}$$

Значение расчётной полной нагрузки воздушной линии 10 кВ, предназначенной для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», с учётом значения коэффициента одновременности максимума нагрузок [2]

$$S_{ВЛ} = \sqrt{P_{ВЛ}^2 + Q_{ВЛ}^2}. \quad (5)$$

Согласно (5) для воздушной линии 10 кВ, предназначенной для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

$$S_{ВЛ} = \sqrt{540^2 + 292^2} \approx 614 \text{ кВА.}$$

При этом в работе воздушная линия – двухцепная, следовательно, на каждую из двух цепей приходится половина нагрузки (коэффициент 0,5).

Поэтому для активной нагрузки одной цепи проектируемой воздушной линии 10 кВ для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»:

$$P_{ВЛ1} = 0,5 \cdot P_{ВЛ1}, \text{ кВт.} \quad (6)$$

Для реактивной нагрузки одной цепи проектируемой воздушной линии 10 кВ для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»:

$$Q_{ВЛ1} = 0,5 \cdot Q_{ВЛ1}, \text{ квар.} \quad (7)$$

Для полной нагрузки одной цепи проектируемой воздушной линии 10 кВ для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»:

$$S_{ВЛ1} = \sqrt{P_{ВЛ1}^2 + Q_{ВЛ1}^2}. \quad (8)$$

По условиям (6) – (8) для проектируемой воздушной линии 10 кВ, нагрузка на каждую цепь будет составлять:

$$P_{ВЛ1} = 0,5 \cdot 540 = 270 \text{ кВт.}$$

$$Q_{ВЛ1} = 0,5 \cdot 292 = 146 \text{ квар.}$$

$$S_{ВЛ1} = \sqrt{292^2 + 146^2} = 307 \text{ кВА.}$$

Результаты расчёта нагрузок проектируемой воздушной линии 10 кВ для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», представлены в форме таблицы 2.

Таблица 2 – Результаты расчёта нагрузок проектируемой воздушной линии 10 кВ для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

Наименование вида нагрузки линии	Активная, P, кВт	Реактивная, Q, квар	Полная, S _П , кВА
Полная расчётная нагрузка линии 10 кВ (без учёта K ₀)	600	324	682
Полная расчётная нагрузка линии 10 кВ (с учётом K ₀)	540	292	614
Полная расчётная нагрузка каждой цепи линии 10 кВ (с учётом K ₀)	270	146	307

Результаты, полученные при расчёте электрических нагрузок проектируемой воздушной линии 10 кВ для питания двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», используются в работе далее для выбора и проверки проводников и аппаратов для защиты и коммутации воздушной линии, а также проверки силовых трансформаторов на двухтрансформаторной КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

При этом в работе используются как значения расчётных нагрузок всей линии, так и значения расчётных нагрузок каждой её цепи.

2.3 Выбор компенсирующих устройств

Известно, что избыточная реактивная мощность загружает электрические сети, приводит к их дополнительному нагреву и потерям электроэнергии.

В работе реактивная мощность, которая вырабатывается индуктивными потребителями ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», передаётся в энергосистему через проектируемую воздушную линию 10 кВ, загружая энергосистему потоком реактивной нагрузки. Именно поэтому в работе необходимо рассчитать компенсацию реактивной мощности и выбрать для её устранения компенсирующие устройства.

В работе компенсация реактивной мощности применяется на шинах 0,4 кВ КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

Таким образом, будет компенсирована реактивная мощность во всей системе электроснабжения как потребителей, так и на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

Такая компенсация реактивной мощности в системе электроснабжения называется централизованной и наиболее широко распространена среди способов компенсации.

Определяется действительное фактическое значение коэффициента реактивной мощности в системе электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» с учётом полной нагрузки всей системы, рассчитанной ранее (с учётом значения Ko) [18],[19]

$$tg\varphi_k = tg\varphi - \frac{Q_p}{\alpha \cdot P_p}, \text{ квар.} \quad (9)$$

$$tg\varphi_k = 0,93 - \frac{292}{0,9 \cdot 540} = 0,33.$$

Расчётная реактивную мощность компенсирующих устройств реактивной мощности (КРМ) напряжением 0,4 кВ для установки на шинах РУ-0,4 кВ КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» [4]:

$$Q_{к.р.} = \alpha \cdot P_p (tg\varphi - tg\varphi_k), \text{ квар.} \quad (10)$$

$$Q_{к.р.} = 0,9 \cdot 540 (0,54 - 0,33) = 102,1 \text{ квар.}$$

Так как на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» установлены два силовых трансформатора, следовательно, число устройств для компенсации реактивной мощности должно быть парным, поэтому выбирается для

установки две комплектные конденсаторные установки (далее – КУ) типа УК БН-0,38-50-50УЗ.

При этом суммарная мощность выбранных КУ на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» составляет $2 \times 50 = 100$ квар [6].

2.4 Проверка силовых трансформаторов подстанции

Как было указано ранее, на рассматриваемой в работе подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» установлены два силовых трансформатора марки ТМ-630/10.

С учётом ввода в эксплуатацию проектируемой воздушной линии 10 кВ для питания ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», необходимо проверить трансформаторы КТП-10/0,4 кВ предприятия на нагрузочную способность в нормальном режиме и на допустимую перегрузку в аварийном режиме.

Как известно, требуемая установленная номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора для его установки на подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», определяется с учётом возможного и перспективного питания сторонней нагрузки по условию [13]:

$$S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{ном.т.р}} = \frac{P_{\text{р.}} + P_{\text{см.}}}{N\beta_m}, \quad (11)$$

где $S_{\text{ном.т.}}$ – номинальная (паспортная) мощность силового трансформатора подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» [17];

$S_{ном.т.р}$ – расчетная мощность трансформатора, установленного на подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»;

P_p – суммарная активная нагрузка потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»;

$P_{ст.}$ – «суммарная активная нагрузка сторонних потребителей, которые получают питание от подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

По условию выбора (11), с учётом отсутствия в схеме подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» сторонних потребителей:

$$S_{ном.т} = 630 \text{ кВА} \geq S_{ном.т.р} = \frac{540}{2 \cdot 0,7} = 385,7 \text{ кВА}.$$

Условия выполняются, следовательно, силовые трансформаторы марки ТМ-630/10, установленные на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», обеспечат надёжное питание схемы электроснабжения объекта.

Силовой трансформатор большей номинальной мощности на подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» использовать в схеме технически нежелательно, так как его загрузка будет очень низкая и потери холостого хода, а также величина реактивной мощности в системе электроснабжения значительно возрастут.

Условия проверки выбранных трансформаторов на подстанции

переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в нормальном режиме [3]

$$K_3^n = \frac{0,5 \cdot S_p}{S_{ном.т}} \leq 0,7. \quad (12)$$

Условия проверки выбранных трансформаторов на подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в максимальном (послеаварийном) режиме [12]

$$K_3^{n.ав} = \frac{S_p}{S_{ном.т}} \leq 1,4. \quad (13)$$

Проверка выбранных трансформаторов на подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» по (12) в нормальном режиме выполняется

$$K_3^n = \frac{614}{630 \cdot 2} = 0,49 \leq 0,7.$$

Далее в работе осуществляется проверка этого же силового трансформатора в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки сторонней секции сборных шин 10 кВ в случае выхода в аварийный режим второй цепи проектируемой питающей линии 10 кВ или трансформатора по каким-либо причинам (условия резервирования) [11], [14].

Проверка проводится при условии работы, когда один из силовых трансформаторов ТП по какой-либо причине вышел из строя и требуется автоматическое переключение его нагрузки на другой трансформатор, оставшийся в работе.

Проверка выбранных ранее трансформаторов питающей ТП-10/0,4 кВ с учётом сторонних потребителей в максимальном (послеаварийном) режиме [12] объекта проводится таким образом (принимается максимальное значение коэффициента резервирования, равное 1,4, потому что выбираемый силовой трансформатор для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ – новый, следовательно, износ его отсутствует и не учитывается в работе) [12].

Проверка трансформаторов подстанции переменного напряжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в максимальном (послеаварийном) режиме по (13) выполняется

$$K_3^{n.ав} = \frac{614}{630 \cdot (2 - 1)} = 0,97 \leq 1,4.$$

Условие проверки силовых трансформаторов на питающей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в послеаварийном режиме работы, с учётом подключения дополнительной нагрузки потребителей второго трансформатора, в работе выполняется.

Следовательно, установленные на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», силовые трансформаторы марки ТМ-630/10, питающие нагрузку потребителей системы электроснабжения объекта, полностью удовлетворяют условиям проверки на допустимую загрузку в нормальном режиме и допустимую перегрузку в послеаварийном режимах работы.

Поэтому данные трансформаторы выдержат указанную фактическую проектную нагрузку и могут быть окончательно приняты для эксплуатации на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» с учётом питания сторонних потребителей II категории надёжности.

Согласно полученных результатов расчёта, в работе можно сделать следующие выводы:

– поскольку в результате расчётов получилось положительное расчётное число мощности КУ, следовательно, конденсаторные установки напряжением 0,4 кВ на ТП-10/0,4 кВ устанавливаются в количестве двух единиц марки УК БН-0,38-50-50УЗ, обеспечивая, таким образом, централизованную компенсацию реактивной мощности в системе электроснабжения объекта и питающей его проектируемой воздушной линии 10 кВ;

– окончательно принимается на питающей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», с учётом нагрузки собственных и сторонних потребителей, два силовых трансформатора марки ТМ-630/10, которые удовлетворяют условиям проверок на нагрузочную способность как в нормальном режиме, так и в послеаварийном режиме работы при выходе одного из силовых трансформаторов из строя.

Полученные результаты учитываются и используются в данной работе далее.

2.5 Выбор сечения и марки провода воздушной линии 10 кВ

Проводится выбор и проверка сечения проводников проектируемой питающей воздушной линии напряжением 10 кВ для питания системы электроснабжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

В работе для проектируемой питающей воздушной линии напряжением 10 кВ рекомендуется принять инновационный провод марки СИП, который характеризуется улучшенными показателями электробезопасности и надёжности[5].

Преимуществами проводов СИП перед проводами марки АС являются также удобство монтажа, обслуживания и ремонта, а также значительно

меньшие потери мощности за счёт меньшего значения удельного сопротивления.

Для применения на проектируемой питающей воздушной линии напряжением 10 кВ для питания системы электроснабжения КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», в работе применяется провод марки СИП-3.

Провода марки СИП-3 полностью изолированы и состоят из следующих основных элементов[4]:

- изоляция,
- токоведущая жила,
- стальной сердечник.

Конструкция провода марки СИП-3 представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Конструкция провода марки СИП-3

Далее в работе проводится определение и выбор сечения провода проектируемой питающей воздушной линии напряжением 10 кВ (для питания

КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»)» [1].

Данная линия – двухцепная и состоит из двух цепей с применением проводов марки СИП-3 (по количеству трансформаторов, установленных на питающей ТП-10/0,4 кВ).

Расчётный рабочий ток проектируемой питающей воздушной линии напряжением 10 кВ для питания КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» [7], [9]

$$I_{p.} = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{ном.}}. \quad (14)$$

Численное значение расчётного рабочего тока проектируемой питающей воздушной линии напряжением 10 кВ для питания КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» (для каждой цепи линии) по (14):

$$I_{p.} = \frac{307}{\sqrt{3} \cdot 10} = 17,7 \text{ A.}$$

Максимальный расчётный ток проектируемой питающей воздушной линии напряжением 10 кВ для питания КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» [11]:

$$I_{p.p.max} = 1,4 \cdot I_{p.} \quad (15)$$

Численное значение максимального расчётного тока послеаварийного режима проектируемой питающей воздушной линии напряжением 10 кВ для питания КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» (для каждой цепи линии) по (15):

$$I_{p.max} = 1,4 \cdot 17,7 = 24,8 \text{ мм}^2.$$

«Известно, что все линии напряжением выше 1 кВ подлежат выбору по «экономической плотности тока» [7]:

$$F_3 = \frac{I_p}{j_3}. \quad (16)$$

где j_3 – «экономически выгодная плотность тока, А/мм²» [10].

Для воздушной линии 10 кВ, предназначенной для питания КТП-10/0,4 системы электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», в работе при проведении расчётов принято значение экономической плотности тока $j_3 = 1,6 \text{ А/мм}^2$ [11].

Сечение проектируемой воздушной линии марки СИП-3 для питания ретранслятора по (16):

$$F_3 = \frac{17,7}{1,6} = 11,1 \text{ мм}^2.$$

Исходя из результатов расчёта, ближайшее стандартное сечение проводника воздушной линии 10 кВ составляет $F=16 \text{ мм}^2$.

Проверка выбранного сечения питающей воздушной линии по условию механической прочности заключается в том, что принятое стандартное сечение ВЛ должно быть не меньше минимально установленного по климатическим и топографическим условиям [9]:

$$S_{cm} \geq S_{min}, \quad (17)$$

где S_{cm} – стандартное сечение проводника, мм²;

S_{min} – минимально-допустимое сечение проводника по климатическим и топографическим условиям, мм².

Однако по условиям механической прочности, исходя из климатических условий по ветру и гололёду, приведённых в первой главе работы, принимается ближайшее минимальное стандартное сечение $F=25 \text{ мм}^2$ с допустимым током $I_{don}=130 \text{ А}$ [12]. С учётом выбранной марки, для воздушной линии 10 кВ, питающей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», в работе предварительно принимается провод марки СИП-3 (1х25).

Это сечение необходимо проверить по двум основным условиям:

- по допустимому перегреву в максимальном режиме работы линии,
- по допустимым потерям напряжения в линии с учётом её длины.

Условие проверки по допустимому перегреву в максимальном режиме работы линии [11]:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{p.\text{max}}, \quad (18)$$

где I_{don} – «длительно – допустимый ток проводника стандартного сечения, А» [1];

$I_{p.\text{max}}$ – «максимальный ток участка (линии) с учётом перегрузок и резервирования, А» [1].

Для предварительно выбранного сечения проводника воздушной линии 10 кВ, питающей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», условия проверки по допустимому перегреву в максимальном режиме работы линии по (18) выполняются:

$$130 \text{ А} \geq 24,8 \text{ А}.$$

Условие проверки по допустимым потерям напряжения в линии с учётом её длины

$$\Delta U = \frac{PR_{\text{л}} + QX_{\text{л}}}{U_{\text{н}}} \cdot 100 \% \leq U_{\text{норм}} = 5 \%. \quad (19)$$

Проверка по допустимым потерям напряжения для предварительно выбранного сечения СИП-3 (1x25) проводника воздушной линии 10 кВ, питающей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», с учётом её длины (8,1 км), по (19):

$$\Delta U = \frac{270 \cdot 1,77 \cdot 8,1 + 146 \cdot 0,42 \cdot 8,1}{10000} \cdot 100 = 13,7\% \geq 5\%.$$

Условия проверки по допустимым потерям напряжения для предварительно выбранного сечения проводника СИП-3 (1x25) воздушной линии 10 кВ, питающей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», с учётом её длины (8,1 км), не выполняется, следовательно, надо взять провод следующего стандартного сечения (в большую сторону) и проверить условие ещё раз.

Для следующего стандартного сечения СИП-3 (1x35) условие проверки по (19) также не выполняется:

$$\Delta U = \frac{270 \cdot 1,26 \cdot 8,1 + 146 \cdot 0,4 \cdot 8,1}{10000} \cdot 100 = 7,6\% \geq 5\%.$$

Для следующего стандартного сечения СИП-3 (1x50) условие проверки по (19) выполняется:

$$\Delta U = \frac{270 \cdot 0,49 \cdot 8,1 + 146 \cdot 0,34 \cdot 8,1}{10000} \cdot 100 = 4,7\% \leq 5\%.$$

Следовательно, исходя из полученных результатов расчётов и проверок, для воздушной линии 10 кВ, питающей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», с учётом её

длины (8,1 км), окончательно принимается провод марки СИП-3 (1×50), который удовлетворяет всем условиям проверок.

Узлы монтажа данного провода на воздушной линии показаны на графическом листе 4.

2.6 Расчёт токов короткого замыкания

Расчёт токов КЗ необходим для проверки новых аппаратов, которые устанавливаются на питающей подстанции ПС-35/10 кВ «Армянск» для защиты и коммутации воздушной линии 10 кВ, питающей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

Так как на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» установлены два одинаковых по номиналу и мощности силовых трансформатора, следовательно, результаты расчёта токов КЗ в сети 10кВ будут также одинаковыми.

При этом в работе проводится расчёт токов КЗ в максимальном режиме работы, в котором на подстанции остаётся один силовой трансформатор.

Поэтому в работе расчёт искомых трёхфазных токов КЗ в максимальном режиме проводится в расчётной точке К1 – сеть напряжением 10 кВ (в конце питающей воздушной линии 10 кВ, питающей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым») а также в расчётной точке К2 – сеть напряжением 0,4 кВ (на выводах НН трансформатора 1Т).

В работе проводится расчёт следующих видов токов КЗ:

- максимального трёхфазного тока КЗ,
- минимального двухфазного тока КЗ,
- ударного тока КЗ.

Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ на КТП-10/0,4ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики

Крым» с учётом воздушной линии 10 кВ, питающей указанную подстанцию, представлена на рисунке 4.

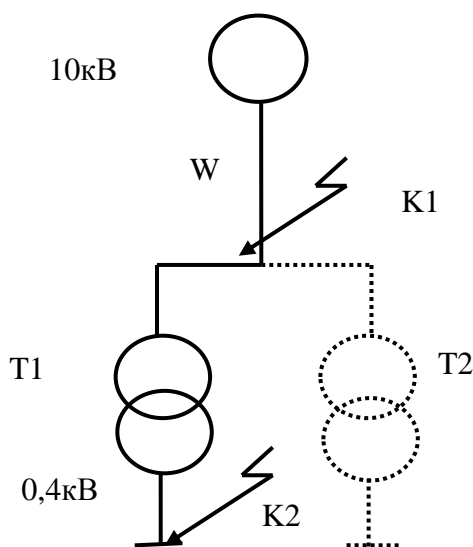


Рисунок 4 – Исходная упрощённая схема для расчёта токов КЗ на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» с учётом воздушной линии 10 кВ, питающей указанную подстанцию (T2 – отключён, питание T1 – по одной линии 10 кВ)

Исходя из расчётной схемы, составляется исходная схема замещения для расчёта значений максимальных и ударных токов трёхфазного короткого замыкания, на которую наносятся все рассчитанные параметры (рисунок 5).

По мере определения параметров, они все наносятся на схему замещения (знаменатель).

В числителе на рисунке 5 показан сам расчётный числовой параметр элементов схемы.

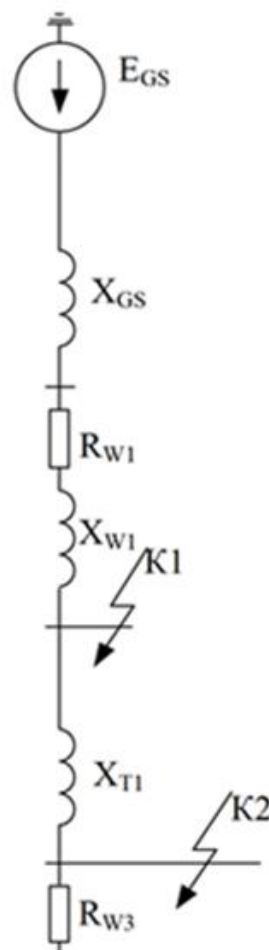


Рисунок 5 – Однолинейная упрощённая схема замещения сети для расчёта токов КЗ в максимальном режиме на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» с учётом воздушной линии 10 кВ, питающей указанную подстанцию

В качестве основной базисной ступени для расчёта в работе выбирается ступень высшего напряжения – 10 кВ.

Мощность энергосистемы принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» [16].

При необходимости результаты расчётов токов КЗ, полученные на неосновной ступени (0,4 кВ), приводятся к основной ступени напряжения путём умножения результата на коэффициент трансформации силового трансформатора подстанции.

Далее в работе принимаются базисные условия при расчёте в именованных единицах.

Базисная мощность также для удобства принимается равной номинальной полной мощности трансформаторов КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»:

$$S_{\text{б}} = 630 \text{ кВА} = 0,63 \text{ МВА}.$$

Базисное напряжение схемы КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» определяется так [6]:

$$U_{\text{б.}} = 1,05 \cdot U_{\text{ном}}, \text{ кВ.} \quad (20)$$

По условию (20):

$$U_{\text{б.1}} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ.}$$

$$U_{\text{б.2}} = 1,05 \cdot 0,38 = 0,4 \text{ кВ.}$$

Базисный ток на сторонах ВН и НН схемы КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» [8]:

$$I_{\text{б}} = \frac{S_{\text{б}}}{\sqrt{3}U_{\text{б}}}. \quad (21)$$

По условию (21):

$$I_{\text{б1}} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,03 \text{ кА,}$$

$$I_{\text{б.2}} = \frac{0,63}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 0,9 \text{ кА.}$$

Значение индуктивного сопротивления проектируемой воздушной линии 10 кВ, питающей указанную подстанцию КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», с учётом длины линии и удельных сопротивлений провода, для каждой цепи линии [16]:

$$X_W = X_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_6}{U_B^2}. \quad (22)$$

$$X_{W1} = 0,34 \cdot 8,1 \cdot \frac{0,63}{10,5^2} = 0,016 \text{ о. е.}$$

Известно, что при расчёте токов КЗ в сетях 6(10)/0,4 кВ необходимо учитывать активные сопротивления всех элементов схемы замещения [8].

Значение активного сопротивления проектируемой воздушной линии 10 кВ, питающей указанную подстанцию КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», с учётом длины линии и удельных сопротивлений провода, для каждой цепи [16]:

$$R_W = R_{уд.W1} \cdot L_{W1} \cdot \frac{S_6}{U_B^2}. \quad (23)$$

$$R_{W1} = 0,49 \cdot 8,1 \cdot \frac{0,63}{10,5^2} = 0,02 \text{ о. е.}$$

«Индуктивное сопротивление силового трансформатора» [16]

$$X_{T1} = \frac{U_{к.з.}}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{Н.Т}}. \quad (24)$$

$$X_{T1} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{0,63}{0,63} \approx 0,11 \text{ о. е.}$$

Максимальное значение токов трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» определяется по известному выражению [16]

$$I_{\kappa}^{(3)} = \frac{E_c}{Z_{\Sigma k}} \cdot I_6. \quad (25)$$

Полное сопротивление цепи КЗ до расчётных точек и ток трёхфазного КЗ в максимальном режиме схемы КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» [16]

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(X_c + X_{w1})^2 + R_{w1}^2}. \quad (26)$$

$$Z_{\Sigma k1} = \sqrt{(0,005 + 0,016)^2 + 0,02^2} = 0,029 \text{ о. е.}$$

$$I_{\kappa1}^{(3)} = \frac{1}{0,029} \cdot 0,03 = 1,03 \text{ кА.}$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(X_c + X_{w1} + X_T)^2 + R_{w1}^2}. \quad (27)$$

$$Z_{\Sigma k2} = \sqrt{(0,005 + 0,016 + 0,11)^2 + 0,02^2} \approx 0,13 \text{ о. е.}$$

$$I_{\kappa2}^{(3)} = \frac{1}{0,13} \cdot 0,9 = 6,92 \text{ кА.}$$

Ударный ток при максимальном значении трёхфазного КЗ в расчётных точках схемы КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» [16]:

$$i_{уд} = \sqrt{2} \cdot K_{уд} \cdot I_{\kappa}^{(3)}. \quad (28)$$

Численное значение ударного тока при максимальных значениях трёхфазных токов КЗ в расчётных точках схемы КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

$$i_{уд.к1} = \sqrt{2} \cdot 1,4 \cdot 1,03 = 2,04 \text{ кА.}$$

$$i_{уд.к2} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 6,92 = 9,75 \text{ кА.}$$

Минимальное значение токов двухфазного КЗ в расчётных точках схемы КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» определяется по известному выражению [16]

$$I_{к}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к}^{(3)}. \quad (29)$$

Численное значение минимальных токов двухфазного КЗ в расчётных точках схемы КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»:

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1,03 = 0,89 \text{ кА.}$$

$$I_{к2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 6,92 = 5,99 \text{ кА.}$$

Все полученные в работе результаты расчёта токов короткого замыкания (трёхфазного, двухфазного), а также ударных токов, в расчётных точках КЗ схемы ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», приведены в форме таблицы 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов токов короткого замыкания в расчётных точках схемы ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

Параметр	Единица измерения	Числовое значение параметра	
		Точка К1	Точка К2
$I_{к}^{(3)}, \text{ кА}$	кА	1,03	6,92
$I_{к}^{(2)}, \text{ кА}$	кА	0,89	5,99
$i_{уд.к}, \text{ кА}$	кА	2,04	9,75

Полученные результаты расчетов токов короткого замыкания на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» используются в работе далее при выборе и проверке оборудования для защиты и коммутации проектируемой воздушной линии 10 кВ.

2.7 Выбор и проверка электрических аппаратов

Для защиты и коммутации проектируемой воздушной линии 10 кВ для питания КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в схеме применяются следующие электрические аппараты:

- в ячейках РУ-10 кВ на питающей ПС-35/10 кВ «Армянск»: высоковольтные выключатели, трансформаторы тока и ограничители перенапряжения;
- в ячейках РУ-10 кВ на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»: выключатели нагрузки, предохранители плавкие.

Проводится выбор данных аппаратов. В работе выбираются современные разработки и модификации аппаратов для защиты и коммутации линии.

Известно, что современные технические решения по выбору электрических аппаратов включают применение нового инновационного оборудования, которое характеризуется следующими техническими и экономическими критериями [19],[20]:

- высокая надёжность узлов, механизмов и систем оборудования,
- повышенный коммутационный ресурс, минимальный износ главной и дугогасительной контактных систем,
- стабильное отключение больших токов,
- применение современных способов гашения электрической дуги,
- повышенная электробезопасность,
- экологическая безопасность,

- пожаробезопасность,
- взрывобезопасность,
- удобства и минимум затрат времени на монтаж, обслуживание и ремонт.
- минимум финансовых затрат с коротким сроком окупаемости вложений,
- возможность дальнейшей модернизации.

С учётом данных критериев проводится выбор конкретных марок данных аппаратов для защиты и коммутации воздушной линии 10 кВ КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

«Выбор аппаратов высокого напряжения в общем виде производится по номинальным значениям напряжения и тока по условиям» [12]:

$$U_{уст} \leq U_n; \quad (30)$$

$$I_{раб.макс.} \leq I_n. \quad (31)$$

«Для отключающих аппаратов проверка на ток отключения» [12]:

$$I_{п.т} \leq I_{отк.ном}. \quad (32)$$

«Проверка на отключение аperiodической составляющей тока» [12]:

$$i_{a.т} \leq i_{a.ном} = \sqrt{2} \cdot \beta_{ном} \cdot I_{отк.ном}, \quad (33)$$

где « $\beta_{ном}$ – номинальное значение относительного содержания аperiodической составляющей в отключаемом токе» [12];

« $i_{a.ном}$ – номинальное допустимое значение аperiodической

составляющей в отключаемом токе для времени» [12].

«Проверка на электродинамическую стойкость [12]:

– «по условию номинального тока отключения» [12]:

$$I'' \leq I_{отк.ном}; \quad (34)$$

– «по величине ударного тока» [6,7]:

$$i_y \leq i_{дин.}, \quad (35)$$

где « $i_{дин.}$ – номинальный ток электродинамической стойкости» [12].

«Проверка электрических аппаратов на термическую стойкость» [12]

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T, \quad (36)$$

где « I_T – предельный ток термической стойкости по каталогу» [12].

Для примера проводится выбор и проверка выключателя для защиты и коммутации воздушной линии 10 кВ, установленном на ТП-35/10 кВ «Армянск» в РУ-10 кВ:

$$U_{ном} = 10 \text{ кВ} = U_{сети} = 10 \text{ кВ.}$$

$$I_{ном} = 630 \text{ А} > I_{расч} = 50,9 \text{ А.}$$

$$I_{откл} = 20 \text{ кА} > I_{к1} = 1,03 \text{ кА.}$$

$$i_{пр.скв} = 48 \text{ кА} > i_{ук1} = 6,92 \text{ кА.}$$

Окончательно выбирается для установки на ТП-35/10 кВ «Армянск» в РУ-10 кВ для защиты и коммутации воздушной линии 10 кВ, предназначенной для питания КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий

центр Республики Крым», вакуумный выключатель номинального напряжения 10 кВ марки ВВ/TEL-10-20/630-У2-48.

Аналогично осуществлены выбор и проверка электрических аппаратов 10 кВ (коммутационных, защитных и регулирующих) для их установки в РУ-10 кВ КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», а также в РУ-10 кВ питающей подстанции энергосистемы ТП-35/10 кВ «Армянск», с приведением полученных результатов в работе результатов в форме таблицы 4.

Таблица 4 – Результаты выбора электрических аппаратов напряжением 10 кВ для защиты и коммутации воздушной линии 10 кВ

Наименование аппарата	Марка (типономинал) аппарата
РУ-10 кВ ТП-35/10 кВ «Армянск»	
Выключатели	ВВ/TEL-10-8/630 У2
Трансформаторы тока	ТПОЛМ-10
Ограничители перенапряжения	ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1
РУ-10 кВ КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»	
Предохранители	ПК-10-20-31,5/У3
Выключатель нагрузки	ВНПу-10/ 400-10-У3

Все выбранные коммутационные и защитные электрические аппараты воздушной линии 10 кВ, выбранные для установки в РУ-10 кВ ТП-35/10 кВ «Армянск» и РУ-10 кВ КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», проверены по условиям термической стойкости, динамической устойчивости и соответствию максимальным расчётным токам схемы.

Они показаны в графической части работы.

2.8 Выбор системы учёта и контроля электроэнергии

Далее в работе проводится выбор системы учёта и контроля электроэнергии для применения в системе электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» с учётом

поступления электроэнергии на данный объект от ТП-35/10 кВ «Армянск» по проектируемой воздушной линии 10 кВ.

Выбор системы учёта и контроля электроэнергии является очень важной составляющей любого проектирования электроустановок, так как обеспечивает непосредственный контроль и учёт электроэнергии, лимиты её потребления, контроль параметров потребляемой продукции (электроэнергии), а также ограничение или полное искоренение краж электроэнергии [16].

На КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» учёт и контроль параметров электроэнергии необходимо осуществлять с помощью программно-технических комплексов, которые в последние годы полностью вытеснили устаревшие индукционные и электромагнитные системы, обладая значительными преимуществами перед ними, состоящие и выражающиеся в простоте, надёжности, компактности, работоспособности и т.д.

Именно поэтому принимается к внедрению в проектируемой системе электроснабжения объекта исследования «автоматизированная система контроля и управления электроэнергией (далее – АСКУЭ)» [20], выполненная на базе современного электронного счётчика электроэнергии марки Меркурий-234 ARTM-03 PB.G 3x230/400В 5(10) А класса точности 0,5s/1,0, который используется в работе и выбран для установки на питающей ТП-10/0,4 кВ в шкафу учёта, что является современным инновационным решением согласно [20].

Питание АСКУЭ осуществляют трансформаторы тока, через которые в сеть и на выводы АСКУЭ поступает нормированный допустимый рабочий ток системы.

Связь между электронным счётчиком и управляющей компанией (связь «компания – потребитель») осуществляется по мобильному каналу связи либо через интернет-канал.

Во многих случаях используются оба эти источника связи, что позволяет создать условия резервирования.

Кроме того, при мобильной (сотовой) передаче данных, во избежание сбоев, крайне рекомендуется использовать сеть нескольких мобильных операторов.

Сигнал со счётчиков потребителя через каналы связи передаются в центр сбора и обработки данных энергоснабжающей компании, где сигнал принимается, обрабатывается и заносится в соответствующую электронную ячейку на сервере.

Далее идёт сравнение полученных данных с предыдущими показаниями, а также их непосредственный контроль и обработка.

Эту процедуру в системе АСКУЭ выполняет информационно – вычислительный комплекс.

В конечном итоге, после приёма, обработки и систематизации информации со счётчиков АСКУЭ, она добавляется в специальную ячейку или записывается в виде файла для долгосрочного хранения и дальнейшего использования.

Выбранная система АСКУЭ для применения в системе электроснабжения объекта исследования характеризуется надёжностью, экономичностью, точностью, экологичностью и безопасностью, а также удобством эксплуатации [20].

Принятая к установке в системе электроснабжения система АСКУЭ показана в графической части работы на листе 6.

Выводы по разделу 2.

В разделе, исходя из задания и принятых решений по объекту исследования, внедрены и проверены расчётным путём принятые мероприятия по разработке системы внешнего электроснабжения электроустановок ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в городском округе Армянск посредством строительства высоковольтной линии электропередач 10кВ.

Для достижения цели, в работе были проведены решение следующих основных задач:

- осуществлён выбор трассы, типа опор и схемы воздушной линии электропередач. Исходя из трассы местности, с учётом длины и топографических условий, а также учитывая особенности схемы, для воздушной линии электропередач в работе выбираются следующие типы опор: промежуточные двухцепные опоры марки ПЗ2; промежуточные переходные двухцепные опоры марки ППЗ2; угловые промежуточные двухцепные опоры марки УПЗ2; анкерные (концевые) двухцепные опоры марки АЗ2;
- определены значения расчётных электрических нагрузок всей двухцепной воздушной линии 10 кВ, а также каждой её цепи, с учётом коэффициента одновременности нагрузок;
- осуществлён выбор компенсирующих устройств для компенсации реактивной мощности потребителей подстанции, которая осуществляется через проектируемую воздушную линию 10 кВ. Для этой цели выбраны для установки две комплектные конденсаторные установки типа УК БН-0,38-50-50У327;
- осуществлена проверка силовых трансформаторов подстанции. Расчётным путём показано, что установленные на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», силовые трансформаторы марки ТМ-630/10, питающие нагрузку потребителей системы электроснабжения объекта, полностью удовлетворяют условиям проверки на допустимую загрузку в нормальном режиме и допустимую перегрузку в послеаварийном режиме работы;
- выполнен выбор сечения и марки провода воздушной линии 10 кВ. Исходя из полученных результатов расчётов и проверок, для воздушной линии 10 кВ, питающей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», с учётом

её длины (8,1 км), окончательно принят провод марки СИП-3 (1×50), который удовлетворяет всем условиям проверок;

- выполнен расчёт токов короткого замыкания, необходимый для проверки новых аппаратов для защиты и коммутации воздушной линии 10 кВ, питающей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым». Выполнен расчёт следующих видов токов КЗ: максимального трёхфазного тока КЗ, минимального двухфазного тока КЗ, а также ударного тока КЗ;
- для защиты и коммутации проектируемой воздушной линии 10 кВ для питания КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в схеме выбраны следующие электрические аппараты: в ячейках РУ-10 кВ на питающей ПС-35/10 кВ «Армянск»: высоковольтные выключатели ВВ/TEL-10-8/630 У2, трансформаторы тока ТПОЛМ-10 и ограничители перенапряжения ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1; в ячейках РУ-10 кВ на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»: выключатели нагрузки ВНПу-10/ 400-10-У3, предохранители плавкие ПК-10-20-31,5/У3;
- осуществлён выбор системы учёта и контроля электроэнергии для применения в системе электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» с учётом поступления электроэнергии на данный объект от ТП-35/10 кВ «Армянск» по проектируемой воздушной линии 10 кВ. Для данной цели выбрана система АСКУЭ на базе электронного счётчика «Меркурий» с питанием от трансформаторов тока.

3 Расчёт экономических показателей проекта

3.1 Расчёт суммарных капиталовложений в проект

В результате выполнения работы, проведена разработка внешнего электроснабжения электроустановок ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в городском округе Армянск посредством строительства высоковольтной линии электропередач 10 кВ. Приняты решения по выбору сечения воздушной линии 10 кВ, аппаратов для её защиты и коммутации. Также в системе электроснабжения объекта проверены силовые трансформаторы, выбраны компенсирующие устройства, выбрана система АСКУЭ.

Далее в работе проводится расчёт суммарных капиталовложений в проект.

Исходя из принятых решений в работе, капитальные вложения в систему внешнего электроснабжения электроустановок ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в городском округе Армянск, с учётом разбиения оборудования на типичные типы и группы по назначению, определяются так[20]:

$$K = K_{ТП} + K_C + K_A, \quad (37)$$

где $K_{ТП}$ – капиталовложения в КТП-10/0,4 системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»(включая силовые трансформаторы, ККУ, шкафы РУ-10 кВ, а также АСКУЭ);
 K_C – капиталовложения в электрические сети системы внешнего электроснабжения объекта (воздушная линия напряжением 10 кВ);
 K_A – капиталовложения в электрические аппараты 10 кВ системы внешнего электроснабжения объекта (включая распределительные шкафы и ячейки).

Капиталовложения по каждому из видов определяется с учётом стоимости единицы, количества единиц, а также расходов на монтаж и наладку (25–35% от стоимости оборудования) и накладных расходов (10–15% от стоимости оборудования).

Исходя из принятых норм, принимается в работе

$$H_p = 0,1C_{осн}, M_n = 0,3 \cdot C_{осн}. \quad (38)$$

Капиталовложения в КТП-10/0,4 системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» определяются так [20]:

$$K_{ТП} = C_{осн} \cdot n + M_n + H_p, \quad (39)$$

где n – количество единиц оборудования, шт.;

$C_{осн}$ – стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.;

M_n – расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.;

H_p – накладные расходы, тыс. руб.

Результаты расчёта стоимости оборудования КТП-10/0,4 системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», с учётом выбранных в работе двух силовых трансформаторов марки ТМ-630/10, шкафов РУ-10 кВ, а также ККУ и АСКУЭ, сведены в таблицу 5.

При этом в данной и последующих таблицах по расчёту стоимости оборудования принимаются во внимание укрупнённые показатели оборудования.

Для каждого вида и типа оборудования определяется суммарная стоимость, с учётом количества единиц и стоимости за единицу оборудования (укрупнённые показатели).

Таблица 5 – Стоимость оборудования КТП-10/0,4 системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

Тип электрооборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Силовой трансформатор ТМ-630/10	2	230,0	460,0
Шкаф РУ-10кВ (без оборудования)	2	25,0	50,0
Установки ККУУК БН-0,38-50-50УЗ	2	28,0	56,0
АСКУЭ «Меркурий – 220-М2М»	1	68,0	68,0
Итого	7	-	634,0

Капиталовложения в оборудование КТП-10/0,4 системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

$$K_{ТП} = 634 + 0,3 \cdot 634 + 0,1 \cdot 634 = 887,6 \text{ тыс.руб.}$$

Капиталовложения в электрические сети системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» определяется сечением и длиной питающей воздушной линии 10 кВ.

С учётом укрупнённых показателей эта величина численно определяются так [20]

$$K_C = l_C \cdot C_C + M_n + H_p, \quad (40)$$

где l_C - длина сети, км;

C_C - стоимость 1 км сети, тыс. руб.

Расчеты стоимости электрических сетей системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» сводятся в таблицу 6.

Таблица 6 – Стоимость электрических сетей системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

Марка кабеля	Кол-во, км	Стоимость, за км, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Питающая сеть 10кВ			
Воздушная линия 10 кВ с проводом СИП-3(1×50)	8,1	207,4	1680,2
Итого	8,1	-	1680,2

Капиталовложения в электрические сети системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»:

$$K_C = 1680,2 + 0,3 \cdot 1680,2 + 0,1 \cdot 1680,2 = 2352,46 \text{ тыс.руб.}$$

Капиталовложения в электрические аппараты (включая распределительные шкафы 10 кВ, в которых установлены аппараты защиты и коммутации сети) КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в результате проведения реконструкции, определяются так [20]

$$K_A = C_{осн.} \cdot n + M_n + H_p, \quad (41)$$

где n – количество единиц оборудования, шт.;

$C_{осн.}$ – стоимость одной единицы оборудования, тыс. руб.;

M_n – расходы на монтаж и наладку оборудования, тыс. руб.;

H_p –накладные расходы, тыс. руб.

Расчеты стоимости электрических аппаратов 10 кВ системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Стоимость электрических аппаратов 10 кВ системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

Марка оборудования	Кол-во ед., шт.	Стоимость, за единицу, тыс. руб.	Суммарная стоимость, тыс. руб.
Выключатель высокого напряжения ВВ/TEL-10-20/630-У2-48	2	479,25	958,5
Трансформатор тока ТПОЛМ-10	6	16,0	96,0
Трансформатор напряжения НТМИ-10	2	45,0	90,0
Выключатель нагрузки ВНПу-10/ 400-10-УЗ	2	46,0	92,0
Предохранитель плавкий ПК-10-20-31,5/УЗ	6	4,0	24,0
Ограничитель перенапряжений ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1	6	10,0	60,0
Итого	-	-	1320,5

Капиталовложения в электрические аппараты 10 кВ системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»:

$$K_A = 1320,5 + 0,3 \cdot 1320,5 + 0,1 \cdot 1320,5 = 1848,7 \text{ тыс.руб.}$$

Определение суммы общих капиталовложений в систему внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»:

$$K = 887,6 + 2352,46 + 1848,7 = 5088,76 \text{ тыс.руб.}$$

3.2 Расчёт суммарной стоимости проекта

Известно, что суммарная стоимость любого проекта определяется алгебраической суммой двух основных составляющих: суммарных капиталовложений в проект и суммарных эксплуатационных издержек (затрат).

В математическом виде это выражение можно записать так:

$$C = K + ЭЗ, \text{ тыс.руб.}, \quad (42)$$

где ЭЗ – величина эксплуатационных издержек (затрат), тыс. руб.

В общем (стандартном) виде расчетная формула эксплуатационных издержек (затрат) на разработанную систему внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» имеет вид [20]:

$$\begin{aligned} ЭЗ = ЗП + СВ + A_{отп} + A_{ос} + A_{оа} + \\ + P_{ТО(тп)} + P_{ТО(с)} + P_{ТО(а)} + Пр, \end{aligned} \quad (43)$$

где ЗП – заработная плата, тыс. руб.;

СВ – страховые взносы, тыс. руб.;

A – амортизационные отчисления, тыс. руб.;

P – затраты на ремонт и техническое обслуживание, тыс. руб.

Заработная плата за год [20]

$$ЗП = M_0 \cdot N \cdot K_{дон} \cdot T, \quad (44)$$

где $M_0 = 39,431$ тыс. руб. – средний месячный оклад по предприятию по состоянию на 01.09.2022 г.;

$N = 5$ – количество оперативно – технических работников, обслуживающих оборудование ретранслятора, человек;

$K_{дон} = 1,5$ – коэффициент, учитывающий дополнительную оплату труда;

$T = 12$ – число месяцев в году.

$$ЗП = 39,431 \cdot 5 \cdot 1,5 \cdot 12 = 3548,79 \text{ тыс.руб.}$$

Страховые взносы

$$CB = 0,309 \cdot ЗП. \quad (45)$$

$$CB = 0,309 \cdot 3548,79 = 1096,58 \text{ тыс.руб.}$$

Амортизационные отчисления на систему внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в работе определяются, исходя из величины капитальных вложений по каждому виду так [20]:

$$A_o = K \cdot \frac{a}{100}, \quad (46)$$

где a – годовая норма амортизационных отчислений, % [20].

$$A_{oTP} = 887,6 \cdot 0,1 = 88,76 \text{ тыс.руб.}$$

$$A_{oC.} = 2352,46 \cdot 0,1 \approx 235,25 \text{ тыс.руб.}$$

$$A_{oA.} = 1848,76 \cdot 0,1 = 184,88 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные амортизационные отчисления на систему внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»:

$$A_o = 88,76 + 235,25 + 184,88 = 508,89 \text{ тыс.руб.}$$

Затраты на ремонт и техническое обслуживание на систему внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» [20]:

$$P_{TO} = K \cdot \frac{r}{100}, \quad (47)$$

где r – годовая норма отчислений на ремонт и техническое

обслуживание оборудования и электрических сетей, % [20].

$$P_{TO(III)} = 887,6 \cdot 0,025 = 22,19 \text{ тыс.руб.}$$

$$P_{TO(C)} = 2352,46 \cdot 0,025 = 58,81 \text{ тыс.руб.}$$

$$P_{TO(A)} = 1848,7 \cdot 0,025 = 46,22 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные расходы на ремонт и техническое обслуживание в системе внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

$$P_{TO} = 22,19 + 58,81 + 46,22 = 127,22 \text{ тыс.руб.}$$

Прочие расходы [9]

$$Pr = 0,01 \cdot \sum K. \quad (48)$$

$$Pr = 0,01 \cdot 5088,76 = 50,89 \text{ тыс.руб.}$$

Суммарные годовые эксплуатационные издержки (расходы) на систему внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

$$\text{ЭЗ} = 3548,79 + 1096,58 + 508,89 + 127,22 + 50,89 = 5332,37 \text{ тыс.руб.}$$

Значит, суммарная стоимость разработанного проекта системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»

$$C = 5088,76 + 5332,37 = 10421,13 \text{ тыс.руб.}$$

Полученная величина принимается за основу.

Выводы по разделу 3.

В результате выполнения раздела работы, рассчитаны технико-экономические показатели разработанного проекта системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым».

Определены суммарные капитальные затраты (суммарные вложения в проект) в оборудование подстанций, электрические сети и аппараты системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», а также заработная плата обслуживающего персонала, страховые взносы, суммарные амортизационные отчисления, отчисления на ремонт и обслуживание, годовые эксплуатационные издержки.

Суммарная стоимость разработанного проекта системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» составила 10421,13 тыс.руб.

Полученные результаты экономических расчётов затрат, определённых для разработанного проекта системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», могут быть приняты к сведению при практической реализации данного проекта.

Заключение

В результате выполнения работы осуществлена разработка проекта внешнего электроснабжения электроустановок ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в городском округе Армянск, посредством строительства высоковольтной линии электропередач 10 кВ, в связи с необходимостью обеспечения внешнего питания объекта согласно требованиям нормативных документов, предъявляемых к системам обеспечения потребителей, исходя из соответствующей категории надёжности.

Осуществлён анализ исходных данных с приведением основных технических характеристик КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым». Установлено, что на данном этапе объект нуждается в подключении источников питания от энергосистемы посредством строительства высоковольтной воздушной линии электропередач напряжением 10 кВ, что обуславливает необходимость и актуальность данной работы.

Приведены детальные топографические и климатические условия местности в месте сооружения воздушной линии 10 кВ.

Основываясь на климатической и топографической характеристиках местности, где планируется сооружение воздушной линии 10 кВ для питания потребителей подстанции переменного тока КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», а также на исходной схеме главных электрических соединений подстанции, с учётом характеристики и технических данных потребителей объекта, работе осуществлено решение следующих основных поставленных задач:

- осуществлён выбор трассы, типа опор и схемы воздушной линии электропередач. Исходя из трассы местности, с учётом длины и топографических условий, а также учитывая особенности схемы, для воздушной линии электропередач в работе выбираются следующие

типы опор: промежуточные двухцепные опоры марки ПЗ2; промежуточные переходные двухцепные опоры марки ППЗ2; угловые промежуточные двухцепные опоры марки УПЗ2; анкерные (концевые) двухцепные опоры марки АЗ2;

– определены значения расчётных электрических нагрузок всей двухцепной воздушной линии 10 кВ, а также каждой её цепи, с учётом коэффициента одновременности нагрузок;

– осуществлён выбор компенсирующих устройств для компенсации реактивной мощности потребителей подстанции, которая осуществляется через проектируемую воздушную линию 10 кВ. Для этой цели выбраны для установки две комплектные конденсаторные установки типа УК БН-0,38-50-50У327;

– осуществлена проверка силовых трансформаторов подстанции. Расчётным путём показано, что установленные на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», силовые трансформаторы марки ТМ-630/10, питающие нагрузку потребителей системы электроснабжения объекта, полностью удовлетворяют условиям проверки на допустимую загрузку в нормальном режиме и допустимую перегрузку в послеаварийном режиме работы;

– выполнен выбор сечения и марки провода воздушной линии 10 кВ. Исходя из полученных результатов расчётов и проверок, для воздушной линии 10 кВ, питающей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», с учётом её длины (8,1 км), окончательно принят провод марки СИП-3 (1×50), который удовлетворяет всем условиям проверок;

– выполнен расчёт токов короткого замыкания, необходимый для проверки новых аппаратов для защиты и коммутации воздушной линии 10 кВ, питающей КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым». Выполнен расчёт следующих

видов токов КЗ: максимального трёхфазного тока КЗ, минимального двухфазного тока КЗ, а также ударного тока КЗ;

– для защиты и коммутации проектируемой воздушной линии 10 кВ для питания КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» в схеме выбраны следующие электрические аппараты: в ячейках РУ-10 кВ на питающей ПС-35/10 кВ «Армянск»: высоковольтные выключатели ВВ/TEL-10-8/630 У2, трансформаторы тока ТПОЛМ-10 и ограничители перенапряжения ОПН-КР/TEL-10/12 УХЛ1; в ячейках РУ-10 кВ на КТП-10/0,4 ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым»: выключатели нагрузки ВНПу-10/ 400-10-УЗ, предохранители плавкие ПК-10-20-31,5/УЗ;

– осуществлён выбор системы учёта и контроля электроэнергии для применения в системе электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» с учётом поступления электроэнергии на данный объект от ТП-35/10 кВ «Армянск» по проектируемой воздушной линии 10 кВ. Для данной цели выбрана система АСКУЭ на базе электронного счётчика «Меркурий» с питанием от трансформаторов тока;

– рассчитаны технико-экономические показатели разработанного проекта системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым». Суммарная стоимость разработанного проекта системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым» составила 10421,13 тыс.руб.

Полученные результаты технических и экономических расчётов, определённых для разработанного проекта системы внешнего электроснабжения ретранслятора «Радиотелевизионный передающий центр Республики Крым», могут быть приняты к сведению при практической реализации данного проекта.

Список используемых источников

1. Анчарова Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. М.: Форум, НИЦ ИНФРА. 2016. 416 с.
2. Виноградова А. В. Электроснабжение промышленных предприятий; учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Интернет Инжиниринг, 2017. 672 с.
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. Кадомская К.П., Лавров Ю.А. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 343 с.
5. Курдюмов В.И., Зотов Б.И. Проектирование и расчет средств обеспечения безопасности. М.: Колос, 2016. 184 с.
6. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности при эксплуатации электроустановок (ПОТ РМ-016-2001): (серия 17, норматив. док. по надзору в электроэнергетике). М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2016. 208 с.
7. Михайлов Ю.М. Охрана труда при эксплуатации электроустановок. М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2017. 224 с.
8. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. 5-е издание, перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 2016. 608 с.
9. Никитенко Г.В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение. Дипломное проектирование: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2018. 316 с.
10. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. 4-е изд., перераб. и доп. М: Энергоатомиздат, 2017. 174 с.

11. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России. М.: ЗАО «Энергосервис», 2017. 315 с.
12. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). М.: Альвис, 2018. 632 с.
13. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: ИЦ Академия, 2016. 448 с.
14. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 464 с.
15. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение. Вологда: Инфра-Инженерия, 2017. 328 с.
16. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ЭНАС, 2018. 312 с.
17. СТО 56947007-29.240.30.010-2008. «Схемы принципиальные электрические распределительных устройств подстанций 35-750кВ. Типовые решения». [Электронный ресурс]: URL: <https://www.twirpx.com/file/24666/> (дата обращения: 22.08.2022).
18. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении, повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
19. Шеховцов В. П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению. М.: Форум, Инфра. 2015. 136 с.
20. Энергетическая стратегия РФ на период до 2035 года. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р. М.: Министерство энергетики, 2020. 142 с.